

云南地震预警信息发布平台设计及在2021年 云南漾濞 M_s 6.4 地震中的应用*

赵至柔, 吴艳梅, 李敏, 曹彦波, 贾召亮, 壮延

(云南省地震局, 云南昆明 650224)

摘要: 基于云南省地震局预警平台, 设计了云南本地化地震预警信息发布平台。该平台可对云南范围内的地震烈度速报信息、重点地震监视防御区域的地震预警信息等内容进行发布, 可对接入的预警信息发布终端进行日常监控与管理, 并提供多元化的服务产品。经过云南省地震预警信息发布演练和真实地震检验, 云南地震预警信息发布平台能较好地政府应急决策、公众逃生避险、重大工程地震紧急处置以及相关科学研究提供地震预警信息服务。

关键词: 地震预警; 预警信息; 发布平台; 漾濞 M_s 6.4 地震

中图分类号: P315-391

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2021)03-0507-07

0 引言

地震预警是指在地震发生后, 利用电磁波与地震波之间的时间差, 在破坏性地震波尚未到达时, 提前几秒到几十秒发出预警, 以有效减少人员伤亡, 达到防震减灾实效, 消除民众恐慌情绪 (Lee *et al.*, 2019)。地震预警可细分为异地预警、现地 (原地) 预警以及混合预警 3 种模式。目前常用的预警算法有 ElarmS3、FinDer 等 (卢建旗, 李山有, 2021)。

一些国家及地区的地震预警工程发展较早, 如日本、美国、墨西哥及中国台湾等 (张红才等, 2013)。日本境内运行着多个地震预警紧急信息服务系统, 如为新干线铁路系统服务的 UrEDAS/Compact UrEDAS 系统、为日本全体民众服务的“紧急地震速报”系统等 (杨程等, 2018)。美国于 1994 年开始研究地震预警, 最初使用的是 Elarm 系统, 经过不断完善, 在 ElarmS3 的基础上建成了目前正在运行的 ShakeAlert 系统 (王红蕾等, 2019)。墨西哥于 2005 年, 将原

有墨西哥城地震预警系统 SAS 和瓦哈卡市地震预警系统 SASO 合并为墨西哥地震预警系统 SASMEX (杨陈, 2018)。中国台湾于 1994 年开始进行地震预警相关研究工作, 建立了“及时强地动观测系统” (袁志祥等, 2007)。

我国作为世界上遭受地震灾害最严重的国家之一, 建立一套完善的地震预警系统势在必行 (高峰等, 2014; 郭红梅等, 2019)。2015 年 6 月, “国家地震烈度速报与预警工程”获批, 项目工作进入可行性研究阶段 (蒋长胜, 刘瑞峰, 2016)。2018 年 7 月该项目正式启动。2019 年 7 月, 云南地震烈度速报与预警工程项目纳入“国家地震烈度速报与预警工程”先行先试范畴, 力争在 2021 年底, 在云南全省全面形成预警能力。目前云南已建成 202 个基准站、228 个基本站和 1 110 个一般站, 共 1 540 个台站, 紧急地震信息服务终端共计 746 套, 覆盖全省 16 个州 (市) 的学校、政府、应急管理部门、地震行业部门、生命线工程单位等领域。

地震预警信息服务是地震预警系统建设的“最后一公里”, 地震预警信息发布平台作为地

* 收稿日期: 2021-06-15.

基金项目: 云南省青年地震科学基金项目 (2021K07) 资助.

第一作者简介: 赵至柔 (1995-), 助理工程师, 主要从事地震预警信息发布、地震应急等研究工作.

E-mail: 601344129@qq.com.

震信息服务的关键部分,其研发就显得尤其重要(曹彦波等,2015;许瑞杰等,2019;李兆隆等,2019)。本文设计了基于互联网的云南本地化地震预警信息发布平台(下文简称发布平台),实现了以云南省地震局预警平台为基础,对云南范围内的地震烈度速报信息、重点地震监视防御区域的地震预警信息、地震相关科普宣传视频等内容进行发布,对接入的预警信息发布终端进行日常监控与管理并提供地震预警模拟演练、第三方平台接入预警信息等多多元化的服务产品。

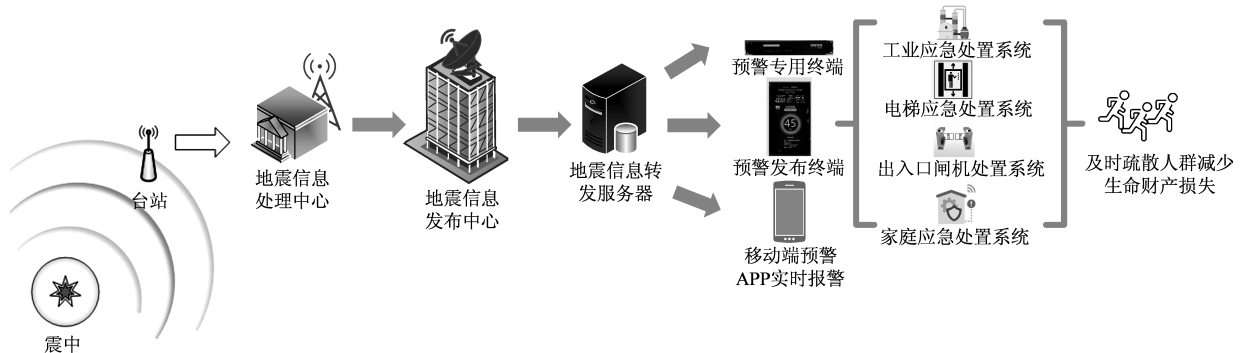


图1 云南地震预警信息发布平台总体架构

Fig. 1 The overall structure of the Yunnan earthquake early warning information release platform

1.2 体系结构

发布平台分为5层,分别为信源层、物理层、应用层、展现层、用户层(图2)。信源层主要包括地震预警信息发布平台推送的地震预警信息等、第三方提供的气象数据信息、其它灾害信息、面向公众的地震科普宣传信息、主要为服务器以及各类终端提供统一的时间服务信息。物理层包括数据库服务器(用于保存终端位置信息、终端运行状态等)、多灾种数据融合服务器(用于融合地震、气象等灾害预警信息)、信息加工处理服务器(用于对各类预警信息进行加工处理)、消息中间件服务器(用于各类信息的发布)、运维保障服务器(用于监控各终端运行状态、用户发布平台等)。应用层主要是为各类用户提供地震预警、地震速报等服务,还提供当前时间和日期、天气预报等日常服务。展现层主要包括各类地震预警终端。用户层主要指预警信息发布对象。

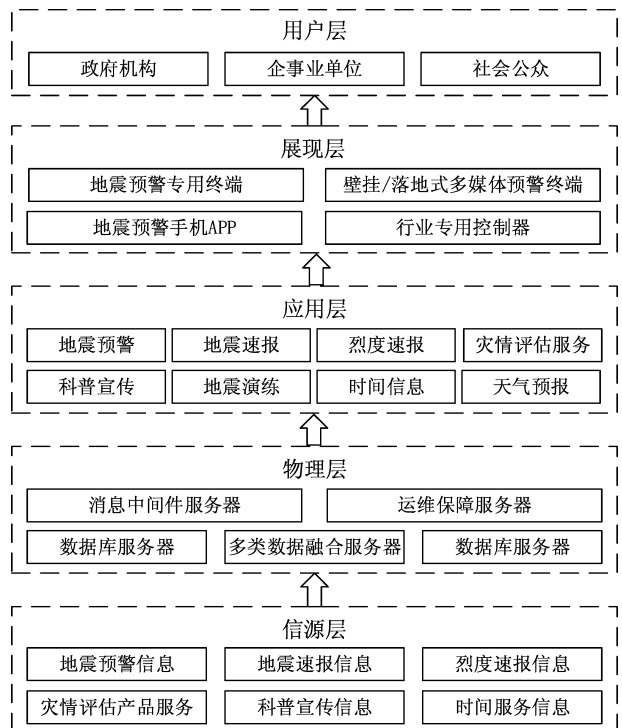


图2 云南地震预警信息发布平台体系结构

Fig. 2 Architecture of the Yunnan earthquake early warning information release platform

2 发布平台功能实现

2.1 技术流程

当发布平台获取到地震预警信息后,首先进

行数据解析,对需要发布的信息进行编码转换,形成标准化的预警信息;然后,根据不同终端的数据交互方式,按照消息队列遥测传输协议(MQTT)及JSON数据格式封装为地震预警信息包,推送至移动端与Web端。地震预警终端在接收到预警信息后,对数据进行解析计算,生成向用户展现的图形要素并在前端进行可视化展示。预警终端登录到地震信息发布通信服务器,并向其发送心跳包来保持长连接,以确保预警终端可以实时向通信服务器发送数据。通信连接的建立过程如下(图3):

(1) 预警终端登录到通信服务器。预警终端

向通信服务器发送登录通信报文，如果通信服务器给予反馈，则表示预警终端登录成功。

(2) 预警终端与通信服务器的连接。登录成功后, 预警终端按设定的时间周期 T_1 主动给通信服务器发送心跳包维持长连接, 通信服务器对心跳包予以应答。心跳包发送、应答及维持长连接要求如下: ①当通信服务器在周期 T_2 内没有收到心跳包, 认为通信链路中断, 释放会话资源。②当预警终端在连续发送了 n 个心跳包后, 没有收到通信服务器的心跳应答包, 就认为通信链路中断, 应重新登录通信服务器。

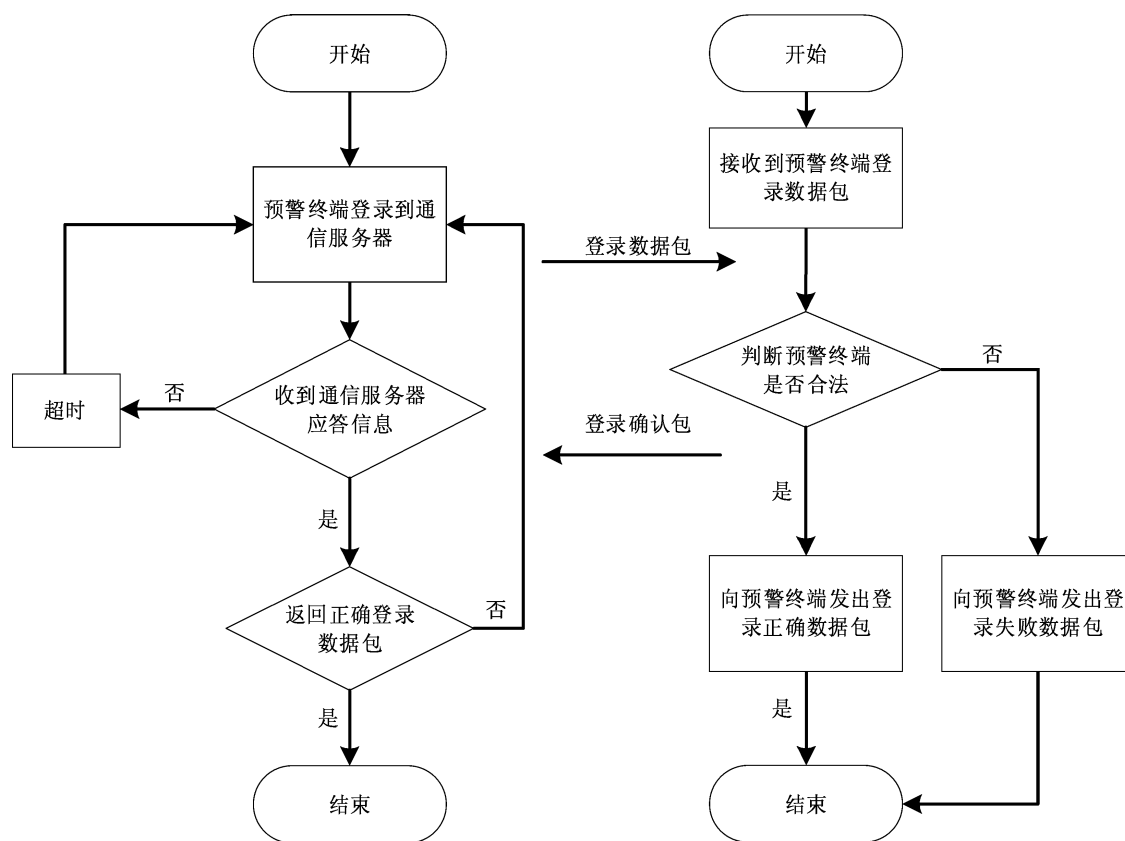


图3 预警终端登录通信服务器流程

Fig. 3 Flowchart of the communication server of the early warning terminal login

2.2 主要功能

发布平台服务端主要包含终端管理、预警终端管理系统、终端内容管理、地震预警速报、避难场所管理、系统管理6个功能。客户端功能模块主要有地震速报、地震预警、科普宣传、软件设置,其中地震速报和地震预警模块有震例目录、震例回放等信息,软件设置里可以进行用户注册登录、版本更新等(表1)。

3 发布平台应用分析

云南地震预警信息发布平台自建成以来,在终端的日常管理、预警信息发布和科普宣传方面发挥了较好的作用,尤其是在2020年9月25日云南省地震预警信息发布演练中,依托发布平台实现了地震预警信息的管理与发布,并在2021年1

表 1 功能模块描述

Tab. 1 Description of functional module

发布平台	功能模块	功能描述
服务端	终端管理	包含运维终端管理、分组管理、主题管理、机构演练、模拟演练、终端设置、终端统计报表等功能。可查看终端设备信息、在线运行状态,可对终端进行远程控制,可查询地震模拟演练的历史记录,也可以添加新的地震模拟演练,在新添加的演练中可选择参演的具体终端,设置模拟的地震参数信息
	预警终端管理系统	可视化展示全省预警终端的分布及在线情况、每台终端的详细信息,地震预警、地震速报、综合预警、避难场所、数据统计信息
	终端内容管理	对每一台终端显示的视频、图片、文字等内容进行查询、添加等管理,同时可以批量导出对终端内容管理的具体记录信息
	地震预警速报	地震预警、地震速报信息发布后,监控接收反馈记录
	避难场所管理	查询收集避难场所,对物资进行分类管理等功能
	系统管理	包括用户角色定义、权限分配、基础数据维护、参数设置等
客户端	地震速报	可视化展示地震速报震例目录及速报详情信息
	地震预警	可视化展示地震预警震例目录,可进行预警回放监控
	科普宣传	对地震相关知识进行科普宣传
	软件设置	登录/注册个人信息、版本更新

月 2 次地震和 5 月 21 日漾濞 $M_s6.4$ 地震中该平台的稳定性和可靠性得到了进一步检验。

3.1 预警终端部署与管理

目前已完成全省 746 套地震预警终端的安装部署,同步开展调试及试运行工作,具备了地震预警信息发布能力。预警终端覆盖了省级抗震救灾指挥部成员单位、各州(市)政府、试点县(区)政府、部分生命线工程和覆盖 16 个州(市)的 600 余所中小学校,并向 25 个重点市(县)的 185 套预警终端用户提供地震预警试运行服务(表 2)。

通过发布平台可以查询终端在线情况,主要包括每个终端的累计在线时长、总时长、在线率等,以及所有终端分日期、分地区的在线数量、在线率等。以 2020 年 11 月为例,笔者统计了所有终端每日在线数量及在线率,结果显示:发布平

台接入的终端连续运行数均大于等于 715 套,正常运行率大于等于 95.8%,满足云南省已安装终端运行率要求(图 4)。

表 2 云南省各州(市)已安装终端数量

Tab. 2 Number of installed terminals in each prefecture (city) of Yunnan Province

州(市)	已安装数量	州(市)	已安装数量
昆明	126	普洱	58
曲靖	39	德宏	40
大理	67	临沧	40
楚雄	52	怒江	23
保山	42	丽江	41
玉溪	44	文山	28
红河	47	昭通	46
西双版纳	29	迪庆	24

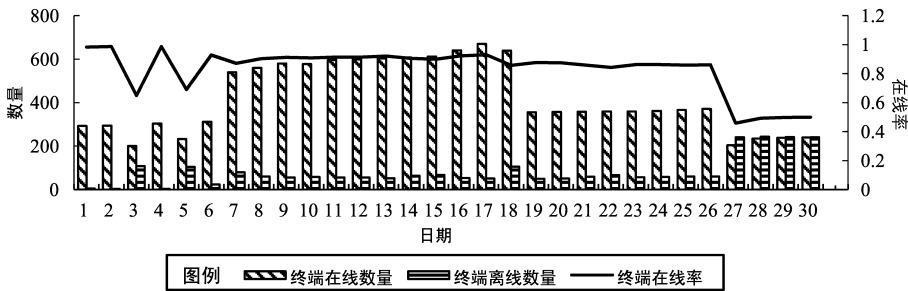


图 4 2020 年 11 月所有终端在线情况

Fig. 4 Online status of all terminals in November, 2020

3.2 预警信息发布演练

为了验证已安装部署终端和发布平台的运行情况,2020年9月25日进行了云南省地震预警信息发布演练,模拟在云南省红河州A县发生7.0级地震,震源深度13 km。演练选取震中距不同的10个地区的预警终端模拟接收预警信息的情况。除云南省地震局指挥大厅的终端外,其余终端均开启警报声和闪光灯,将音量调至“3”;所有终端均设置成地震局演练主题,在地震模拟演练模块中演练主题设置成与终端统一的演练订阅主题,此时之前设置好参演的终端就会

加入演练的群组里。然后再在地震模拟演练模块中分别设置模拟演练的发震地点为云南省红河州A县,设定A县的具体经度、纬度,并假定震级为7.0级。

演练场景设定为1个主会场和5个分会场的模式,主会场设置在云南省地震局,分会场分别设置在红河州地震局、玉溪市第六小学、玉溪市某家庭、云南电网公司、云南省消防救援总队(图5)。云南地震预警信息发布平台发送模拟地震预警信息后,所有会场的预警终端、电视、手机APP均成功接收到地震预警信息。



图5 地震预警演练场景

Fig. 5 Earthquake early warning drill

3.3 真实地震预警响应

发布平台经过反复调试和测试,达到了平台设计所预期的各项性能指标,在2021年1月云南昌宁、盐津2次4级以上地震和2021年5月21日漾濞 $M_s6.4$ 地震中,预警处理系统快速计算出地震三要素等信息,通过发布平台有序发送至处于试运行状态的预警终端。

发布平台服务端的统计结果显示,2021年1月17日昌宁4.1级地震后7 s,全省试点地区有166台预警终端接到预警信息,距离震中14 km的施甸县旧城乡中心完全小学预警终端响应烈度为4度,4所示范小学终端响应烈度为2度,其余162个终端响应烈度为1度。2021年1月23日盐津

4.7级地震后6 s,全省试点地区有162台预警终端接收到预警信息,距离震中37 km的永善县团结镇团结中学终端响应烈度为4度,大关县2台终端、永善县5台终端响应烈度为3度,7台终端响应烈度为2度,其余147台终端响应烈度为1度。2021年5月21日漾濞县 $M_s6.4$ 地震后6.1 s,全省共有675台预警终端收到预警信息,其中有3台预警终端达到最大响应烈度5度,分别位于云南省大理州漾濞彝族自治县苍山西镇漾濞县第一中学初中部、云南省大理州漾濞彝族自治县苍山西镇上街中心完全小学、云南省大理州漾濞彝族自治县苍山西镇苍山西镇初级中学;4台预警终端响应烈度为4度;24台预警终端响应烈度为3度;84

台预警终端响应烈度为 2 度；其余预警终端响应烈度为 1 度（图 6）。

从服务端统计的 3 次真实地震预警终端响应情况来看，地震预警信息发布平台从接收到预警信息并发布至终端需要 6 ~ 7 s，满足地震预警的技术要求；越靠近震中的终端，预测烈度越大，这一点与理论上的地震烈度相符。在

漾濞 $M_s 6.4$ 地震中，通过学校预警终端的监控视频可以看出地震波紧随预警终端倒计时结束后到达，为学生、老师紧急避险提供了宝贵的时间，震后实地调研也证实了这一点。综合 3 次真实地震的检验结果，认为云南地震预警信息发布平台目前已经基本满足为社会公众提供地震预警信息发布的需求。

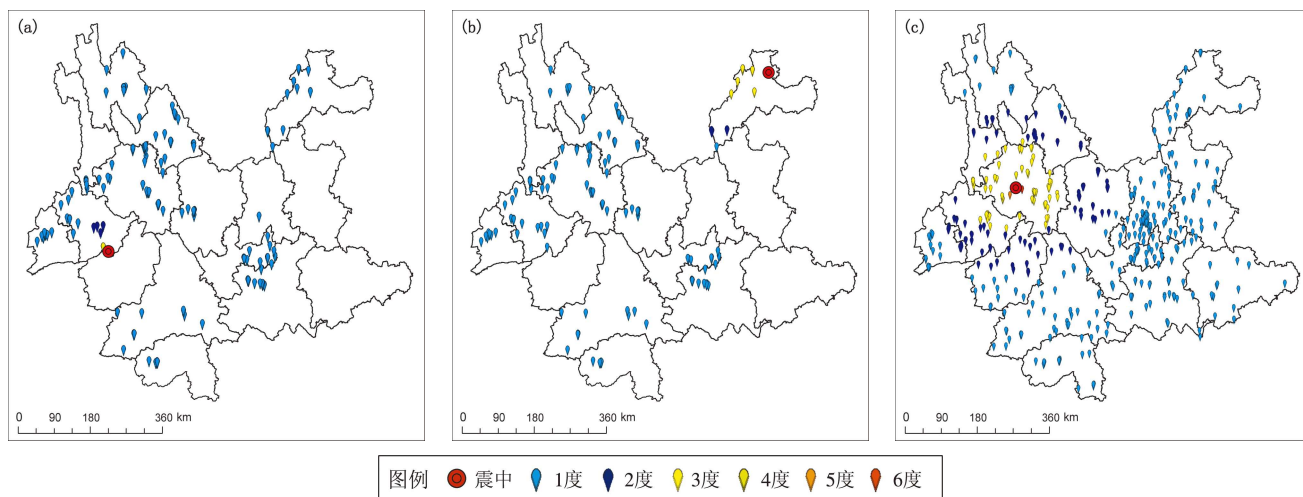


图 6 2021 年云南昌宁 4.1 级地震 (a)、盐津 4.7 级地震 (b)、漾濞 $M_s 6.4$ 地震预警终端响应情况

Fig. 6 Responses of the early warning terminals to the Changning $M_s 4.1$ earthquake (a), the Yanjin $M_s 4.7$ (b), and the Yangbi $M_s 6.4$ earthquake

4 结论

云南地震预警信息发布平台自建成以来，在终端信息管理服务、预警信息发布服务、科普宣传服务、第三方接入服务等方面发挥了较好的社会效益。经过地震预警信息发布演练和实际震例检验，证实了该平台具有良好的稳定性和可靠性，能为政府应急决策、公众逃生避险、重大工程地震紧急处置以及相关科学研究提供及时丰富的地震预警信息服务。

但是试运行过程中也发现了一些问题，如设备在正式服务时存在大用户量并发、预警信息发布出现错报和误报、发布渠道的拓展性和适用性等问题。结合现阶段信息服务成果分析认为，未来在地震预警信息服务应用中应该提高大用户量短时间内并发对服务器、网络的需求能力；建立预警信息发布纠错和误报预案，明确相关处理程序；结合现有主流应用、程序、产品（如支付宝、

一部手机游云南、交通信息指示牌、智能楼宇系统等），不断拓展预警信息发布渠道，提高云南的地震预警信息发布能力。

参考文献：

- 曹彦波,李兆隆,李永强. 2015. 云南地震应急快速评估模型本地化集成研究[J]. 地震研究,38(1):148-154.
- 高峰,杨学山,马树林. 2014. 地震预警系统综述[J]. 自然灾害学报,23(5):62-69.
- 郭红梅,张莹,赵真,等. 2019. 基于天地图的地震灾情综合研判系统设计及实现[J]. 地震研究,42(2):210-217.
- 蒋长胜,刘瑞丰. 2016. 国家地震烈度速报与预警工程——测震台网的机遇与挑战[J]. 工程研究,8(3):250-257.
- 李兆隆,吕佳丽,郑川,等. 2019. 云环境下的云南地震应急指挥技术软件系统设计与实现[J]. 地震研究,42(2):196-203.
- 卢建旗,李山有. 2021. 地震预警断层参数实时识别方法(FinDer)详解及其性能初步评价[J]. 世界地震工程,37(1):152-164.
- 王红蕾,Walter M,高景春,等. 2019. 美国地震预警系统 ShakeAlert 测试与评估[J]. 国际地震动态,(5):17-25.
- 许瑞杰,李敏,曹彦波. 2019. 云南地震信息综合服务平台研发及应用[J]. 中国应急救援,(1):43-49.

- 杨陈. 2018. 地震预警设计中的若干系统工程问题研究[D]. 北京：中国地震局地球物理研究所.
- 杨程, 解全才, 刘泉, 等. 2018. 日本地震预警系统发展历程[J]. 地震地磁观测与研究, 39(4): 126–134.
- 张红才, 金星, 李军, 等. 2013. 地震预警系统研究及应用进展[J]. 地球物理学进展, 28(2): 706–719.
- 袁志祥, 单修政, 徐世芳, 等. 2007. 地震预警技术综述[J]. 自然灾害学报, 16(6): 216–223.
- Lee T, Noh J, Hong S, *et al.* 2019. Development of earthquake early warning system nearby epicenter based on P-wave multiple detection [J]. Journal of the Korean Geosynthetic Society, 18(4): 107–114.

Design of the Yunnan Earthquake Early Warning Information Release Platform and Its Application in the 2021 Yangbi, Yunnan $M_s6.4$ Earthquake

ZHAO Zhirou, WU Yanmei, LI Min, CAO Yanbo, JIA Zhaoliang, ZHUANG Yan
(Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract

In order to better provide earthquake early warning services to the public in Yunnan, we have developed an earthquake early warning information release platform, which issues the quick report of the earthquake intensity, the earthquake early warning information of the key areas of earthquake monitoring and preparedness, etc. It also conducts daily monitoring and management of the access terminals and provides diversified service products. The earthquake early warning information release drills and earthquake events have proved that the Yunnan Earthquake Early Warning Information Release Platform is capable of providing earthquake early warning information services for emergency decision-making of the government, emergency hedging of the public, emergency disposal of major projects, and related scientific research.

Keywords: earthquake warning; warning information; publishing platform; the Yangbi $M_s6.4$ earthquake